

POPULAARTEADUSLIK SARI



I. L. ORESTOV

**KÜLM
VALGUS**

A-16558 III

I. L. ORESTOV

KÜLM VALGUS

Ташкентский государственный университет
Библиотека
1956



EESTI RIIKLIK KIRJASTUS
TALLINN 1956

Originaali tiitel:

И. Л. Орестов

Кандидат химических наук

ХОЛОДНЫЙ СВЕТ

Государственное Издательство
технико-теоретической литературы
Москва 1955

Tõlkinud E. Pillau

2

Tartu Riikliku Ülikooli
Raamatukogu

34289

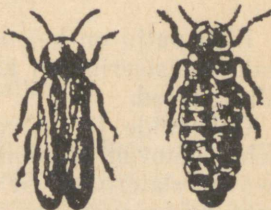


SISSEJUHATUS

Iidsetest aegadest alates on soojus, tuli ja valgus olnud inimese kujutluses omavahel seotud. Päike on andnud inimesele üheaegselt soojust ja valgust. Kui päike vajus horisondi taha ja maapinnale laskus öö, valgustasid inimesed oma elamuid kunstliku valgusega: süüdati peerg, õli- või petrooleumilamp. Kõigil neil juhtudel ilmus valgus koos tule ja soojusega. Tuli, soojus ja valgus näisid lahutamatuks, ainult üheskoos eksisteerivatena.

Kuid looduses võib näha ka «külma» valgust, valgust ilma tuletä, mis «paistab, kuid ei soojenda». Alaliselt loodusega kokku puutudes märkasid inimesed juba ammu seda huvitavat nähtust ja jutustasid sellest muinasjutudes. Meenutagem näiteks, kuidas muinasjutus «Küürselg-sälg» kirjeldatakse Tulilinnu võlusulge, mis öösel ebatavalisest valgusest helendab:

«Kiirgab sulg seal võrratu imevalgust ümberringi — sooja, suitsu pole mingit... Valgust justkui kümnest koldest, aga sooja pole tollest ega suitsujälgegi!»



Joon. 1. Jaanimardikad.

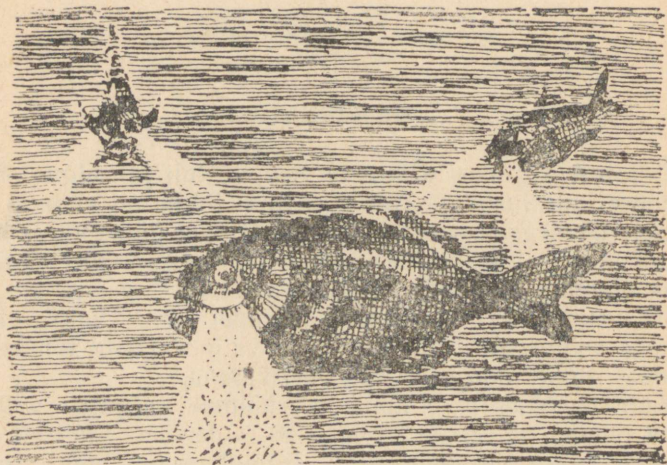
Selle kõigile tuntud muinasjutu autor, vene luuletaja P. P. Jeršov, kasutas siin siberi talupoegade muinasjutte.

Soojadel suveöödel võib sageli näha, kuidas rohus sütitivad rohekad tähekesed. Need on väikesed jaanimardikad («jaaniussid»), kelle tagakehal helendab tuhmilt pisike tuluke (joon. 1).

Reisijad jutustavad, kuidas helendab merevesi, mis sisal-

dab lugematul hulgal väikesi loomakesi — meduuse. Nii-
sugust helendust on märgatud Ohhoota merel, Mustal
merel ja Vahemerel. Eriti tugev on see Vaiksel ookeanil
Kalifornia lahes.

Võimet kiirata «külma» valgust omavad paljud elusolen-
did: bakterid, putukad, kalad (joon. 2), vähilised, mollus-
kid ja teised.



Joon. 2. Helendavad kalad.

Eriti palju on helendavaid putukaid: helendavaid mardikaid eksisteerib ligi kaks tuhat liiki. Helendavad ka mitut liiki sääsed.

Ookeanide ja merede sügavustes elavad kalad, kelle kehal põlevad heledalt kaks silmade all või suu lähedal asuvat «laternat». Sellisel juhul on tegemist kalal elutsevate helendavate bakterite kolooniatega.

Elusorganismide helendamine on väga mitmesugune nii heleduselt kui ka värvuselt. Helendavate loomade poolt levitatava valguse hulk on väga väike võrreldes sellega, mida annavad tavalised valgusallikad. Valgus, mida loomad kiirgavad, on enamasti roheline või helesinine; harva esineb lillat ja veelgi harvem punakat helendust.

Loomadel ei helenda mitte kogu keha, vaid ainult üks või mõned kehaosad. Helendamine ei ole alaline. Mõnel loomal ilmub see ainult siis, kui loom on millestki erutatud:

ööhiilguritel näiteks tekib helendamine mehaanilise põrutuse (laeva liikumise, aerulöökide jne.) mõjul.

«Külma» valgust levitavad samuti roiskuvad ained — mädanevad kalad, liha ja muud. Ja kui palju hirmu tekitab vahel lastele ning ebausklitele täiskasvanutele metsalagendikul kõduneva kännu valgus!

Kehade «külma» helendamist kohtame ka teistel juhtudel. On gaase, vedelikke ja tahkeid kristallilisi aineid, mis kiirgavad «külma» valgust pärast seda, kui nad on olnud päikese käes. Niisugune omadus tekib näiteks raskepaol, kui teda enne kuumutada. Ka petrooleum helendab sinakalt, kui temale langevad päikesekiired.

Teaduses on «külma» helendust hakatud nimetama luminesentsiks (ladina sõnast «lumen» — valgus). Selle helenduse olemust on teadlased hästi tundma õppinud. Veelgi enam — on loodud kunstlikke «külma» valguse allikaid, nagu gaasiga täidetud huumtorusid, luminesents- ja elavhõbedalampe ning helendavaid pulbreid — kristallofosfoore —, mis omandavad iga aastaga üha suuremat tähtsust igapäevases elus ja tehnikas.

Mida siis kujutab endast kehade «külma» helendus? Miks ja kuidas see tekib? Mille poolest erineb ta tavalisest «soojast» helendusest? Kuidas lahendas inimene «külma» valguse saladuse ja kuidas ta õppis seda rakendama oma vajaduste rahuldamiseks? Kõigest sellest jutustatakse meie raamatukeses.

1. KUIDAS TEKIB VALGUS

Et mõista «külma» valguse olemust, tuleb teada, mis on üldse valgus. Kust tuleb valgus looduses? Kus ja kuidas ta tekib? Nendele küsimustele aitab meil vastata aine ehituse tundmine.

Kõik meid ümbritsevad kehad koosnevad väga väikestest osakestest: aatomitest ja molekulidest.

Looduses eksisteerib mitut liiki aatomeid: vesiniku, raua, väävli jne. aatomeid. Praegu tuntakse rohkem kui sadat mitmesugust keemilist elementi. Iga element koosneb aatomeist, millel on ühesugused keemilised omadused.

Mitmesuguste ainete kõik omadused sõltuvad sellest, missugustest aatomitest nad koosnevad ja kuidas need aatomid on molekulis üksteise suhtes asetatud.

Aatomit peeti kaua aega materia jagamatuks osaks. Nüüd me teame, et kõigi elementide aatomid koosnevad veelgi väiksematest osakestest.

Kaasaegse ettekujutuse kohaselt on iga aatomi keskel tuum, mis koosneb prootonitest — positiivset elektrilaengut kandvatest osakestest — ja neutronitest — elektrilaenguta osakestest. Ümber tuuma, temast võrdlemisi suurtel kaugustel, tiirlevad tuumaga võrreldes väga kerged ja pisi-kesed osakesed — negatiivselt laetud elektronid. Iga elektron kannab üht negatiivse elektri elementaarlaengut. Protoni positiivne laeng võrdub suuruselt elektroni negatiivse laenguga.

Tavalises olekus on aatom elektriliselt neutraalne. Siit on kerge järeldada, et aatomituumas olevate prootonite arv peab võrduma selle tuuma ümber tiirlevate elektronide arvuga.

Kui palju laenguid kannab siis aatomituum ja kui palju tiirleb tema ümber elektrone? Sellele küsimusele saab vastata D. I. Mendelejevi perioodilise süsteemi abil. Siin on kõik elemendid asetatud teatavasse järjestusse, mis on niisugune, et iga elemendi aatomituumas olevate prootonite arv võrdub elemendi järjekorranumbriga süsteemis. Tina järjekorranumber näiteks on 50; see tähendab, et tina aatomituum sisaldab 50 prootonit ja ümber selle tuuma tiirleb 50 elektroni. Kõige lihtsam on vesinikuaatomi ehitus. Selle elemendi järjekorranumber on 1. Järelikult on vesiniku aatomituumas üks prooton ja tema ümber tiirleb mööda orbiidiks nimetatavat teed üks elektron. Tavalises vesinikuaatomis on tuuma ja elektroni vahemaa 53 kümneljardikku sentimeetrit ehk 0,53 ongströmit¹. Niisugune vahemaa säilib aga ainult siis, kui aatom on tavalises ehk, nagu öeldakse, ergastamata olekus.

Kui vesinikku soojendada või lasta temast läbi elektrisädemeid, siis vesinikuaatomid ergastuvad — elektron, mis tiirles tuuma ümber orbiidil raadiusega 0,53 ongströmit, hüppab üle uuele orbiidile, mis on tuumast kaugemal (joon. 3). Selle uue orbiidi raadius on neli korda suurem eelmisest, s. o. juba 2,12 Å. Ergastumisel saab elektron väljastpoolt teatava hulga energiat (põlemissoojusest, elektrilahenduste energiast jne.). Mida rohkem elektron

¹ Ongström on eriline pikkuseühik, mis võrdub ühe sajamiljondiku sentimeetriga. Lühendatult tähistatakse Å.

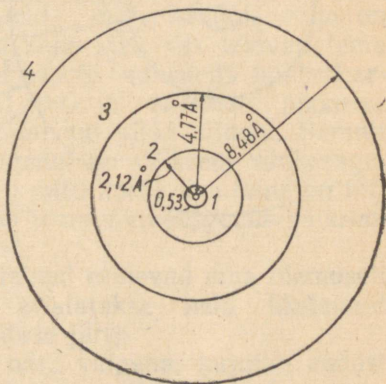
haarab energiat, seda kaugemale ta satub tuumast. Elektron võib panna üle hüppama tuumast kolmandale orbiidile, mille raadius on üheksa korda suurem esimese orbiidi raadiusest. Tuumast eemaldudes elektron nagu hüppaks astmelt astmele, kusjuures nende «astmete» kõrgus ei ole ühesugune, vaid nad suhtuvad üksteisesse nagu täisarvude ruudud $1^2 : 2^2 : 3^2 : 4^2$ jne. Asudes ühel orbiitidest, säilitab elektron kogu selle energia, mille ta haaras sellele orbiidile üle hüppates, ja tema energiatagavara ei muutu nii kaua, kuni ta püsib sellel orbiidil.

Kuid elektron ei püsi peaaegu kunagi kaua tuumast kaugel asuvatel orbiitidel. Olles sattunud sellisele orbiidile, võib elektron seal püsida ainult miljardikke sekundeid ja langeb seejärel tuumale lähemal olevale orbiidile, andes seejuures valgusenergia näol ära tema poolt varem haaratud energiahulga. Nii tekibki valgus.

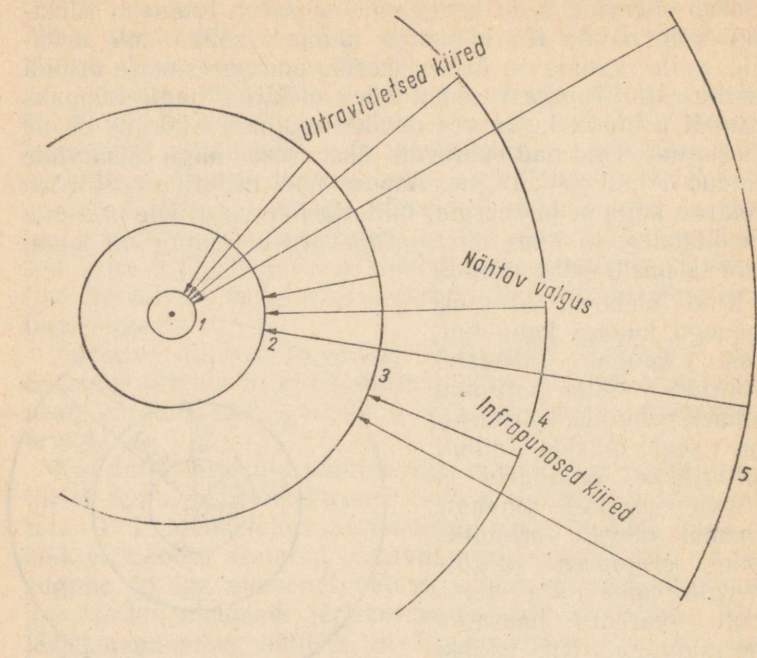
Missugune on see valgus: kollane, roheline, sinine, violetne või silmale hoopis nähtamatu? Valguse loomus sõltub sellest, missuguselt «astmelt» misugusele «astmele» elektron hüppab, seega sellest, kuidas muutub tema kaugus aatomituumast.

Teadlased on välja selgitanud, et aatomi iga elektron võib sooritada hüppeid ainult ühtedelt kindlatelt orbiitidelt teistele kindlatele orbiitidele; seepärast on aatomid pärast ergastamist võimelised kiirgama ainult täiesti kindlat värvi kiiri (joon. 4), mis on omased antud elemendi aatomeile.

Nende elementide aatomid, millel on palju elektrone, levitavad pärast ergastamist rohkesti erisuguseid valguskiiri.



Joon. 3. Vesinikuaatomi skeem. 1 — elektroni orbiit ergastamata aatomis; 2, 3, 4 — elektroni orbiidid ergastatud aatomis.



Joon. 4. Vesinikuaatom kiirgab valgust. Elektroni ülehüppamisel ükskõik missuguselt kaugemal asuvalt orbiidilt tuumale kõige lähemal asuvale (esimesele) orbiidile kiirguvad ultravioletsed kiired, üleminekul tuumast lugedes teisele orbiidile spektri nähtava osa kiired, üleminekul kolmandale orbiidile infrapunased kiired.

2. NÄHTAVAD JA NÄHTAMATUD KIIRED

Ergastatud aatomite poolt levitatavad valguskiired võivad meie silmale olla nähtavad või nähtamatud. Mille poolest siis erinevad üksteisest nähtavad ja nähtamatud valguskiired?

Teadus on tõestanud, et valgus kujutab endast elektromagnetiliste lainete voogu.

Lainete kujunemist on kõige kergem jälgida veepinnal. Vette kukkunud kivi ümber levivad lained ringidena igasse külge. Nad tekivad sellepärast, et kivi paneb vee osakesed liikuma ning liikuvate osakeste võnkumine kandub üle naaberosakestele. Selle tulemusena levib laine veepinnal igasse külge.

Ergastatud aatom, milles elektronid hüppavad kaugemalt orbiitidelt tuumale lähemal asuvatele orbiitidele, tekitab enda ümber samuti keskkonna võnkeid — elektromagnetilisi laineid. Oma olemuselt need lained muudugi erinevad veepinnal tekkivatest lainetest.

Lained erinevad üksteisest olemuselt ja pikkuselt. Nii veepinnal tekkivad lained kui ka elektromagnetilised lained võivad olla pikad ja lühikesed. Igal lainel me eristame harja ja orgu. Kahe kõrvuti oleva laineharja vahemaad nimetatakse lainepikkuseks.

Kui üksteise järel vette visata väikesi kivikesi, siis tekib veepinnal palju lühikesi laineid, mille harjade vahe on väike. Kui aga visata vette suur kivi, siis tekivad tema kukkumise kohal pikad lained suurte vahedega naaberharjade vahel. On arusaadav, et ühte ja samasse pikkusse mahub tublisti rohkem lühikesi kui pikki laineid. Samuti on arusaadav, et pikkadel lainetel on väiksem võnkesagedus kui lühikestel lainetel. Kui mitu korda üks laine on teisest pikem, nii mitu korda on tema võnkesagedus väiksem lühema laine võnkesagedusest.

Kuigi elektromagnetilised lained erinevad oma olemuselt suuresti veepinna lainetest, eristatakse neid üksteisest samuti pikkuse ja võnkesageduse järgi.

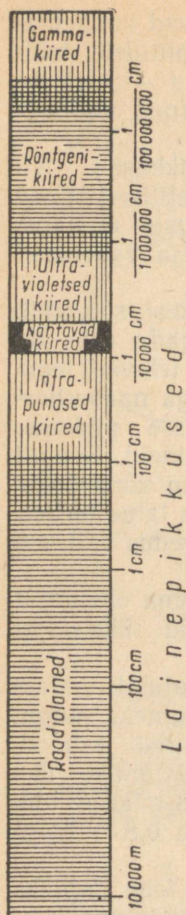
Päikesevalgus, mis meile näib valgena, kujutab endast mitmesuguse pikkusega elektromagnetiliste lainete voogu. Silmaga me võime avastada elektromagnetilisi laineid, mille pikkus on 0,4 mikronist ehk 4000 ongströmist (üks mikron on üks tuhandik millimeetrit) kuni 0,8 mikroni ehk 8000 ongströmini. Kõik lained pikkusega üle 0,8 mikroni ja alla 0,4 mikroni on silmale nähtamatud.

Päikesevalguse koostist on kerge kindlaks teha. Selleks tuleb kitsas valguskiirte kimp lasta läbi klaasprisma.

Päikesevalgus lahutub seejuures oma koostisosadeks — värvilisteks kiirteks, mille hulgas võib eristada punaseid, oranže, kollaseid, rohelisi, helesiniseid, siniseid ja violetseid kiiri. Kui need värvilised kiired langevad valgele paberile, siis tekib värviline riba, milles üks värv vaheldub teisega. Niisugust riba nimetatakse spektriiks.

Päikesevalguse spektrit võib näha ka siis, kui taevasse ilmub vikerkaar. Vikerkaar tekib selle tagajärjel, et päikese kiired lahutuvad spektriiks väikestes vihmapiiskades, mis antud juhul etendavad looduslike prismade osa.

Joonisel 5 on näidatud silmale nähtavate ja nähtamatute



Joon. 5. Elektromagnetiliste võnkumiste spekter.

kiirte skaala. Sellel skaalal asuvad ülalpool nähtavaid kiiri lühilainelised, allpool aga pikalainelised nähtamatud kiired. Violetsetele kiirtele järgnevad väiksema lainepikkusega ultravioletsed kiired.

Looduses eksisteerivad ultravioletsetest kiirtest veelgi väiksema lainepikkusega kiired — röntgenikiired ja gammakiired. Nad on silmale nähtamatud, kuid on kergesti nähtavaks muudetavad fotoplaatide ja eriliste filmide abil. Päikesevalguse spektris ei ole röntgeni- ega gammakiiri.

Punastele kiirtele järgnevad suurema lainepikkusega nähtamatud infrapunased kiired.

Infrapunased kiired ei mõju tavalisele fotoplaadile, kuid neid saab avastada termomeetri abil: kui asetada termomeeter spektri nähtamatusse infrapunasesse ossa, siis hakkab elavhõbe kohe tõusma. Infrapunaseid kiiri nimetati varem ebatäpselt isegi «soojuskiirteks», sest neid levitavad kõik soojendatud kehad. Ka meie keha saadab välja infrapunaseid kiiri. Käesoleval ajal on olemas erilised fotoplaadid, millele saab pildistada esemeid infrapunaste kiirte «valguses».

Looduses esineb ka infrapunastest kiirtest veelgi suurema lainepikkusega elektromagnetilisi võnkumisi. Need on raadiotehnikas kasutatavad elektromagnetilised võnkumised: ultralühilained, mida kasutatakse televisioonisaadeteks, lühilained, mis võimaldavad raadiosidet suurtele kaugustele, kesklained, millel toimuvad enamiku nõukogude radiojaamade saated, ja lõpuks pikad, üle tuhande meetri pikkused lained.

3. SOOJUS, TULI JA VALGUS

Juba ürginimese poolt soojendamiseks ja valgustamiseks kasutatud lõket, samuti nagu peergu, tuletikke, petrooleumilampi ja kaasaegset elektrilampi nimetatakse soo-

juslikeks valgusallikaiks: valgus kiirgub neis kuumadest, hõõguvatest kehadest.

Elektrilambil ei ole leeki nagu lõkkel, kuid see ei muuda asja: elektrilamp kuulub samuti soojuslike valgusallikate hulka, sest temas kiirgub valgus hõõguvast juuspeenest volframniidist.

Kuid mitte alati pole tuli (leek), soojus ja valgus üksteisega seotud. Leek võib olla peaaegu mitterahtav. Nii ei helenda peaaegu üldse gaasipõleti leek, mida keemikud kasutavad laboratooriumis; köögi gaasipliidi leek helendab samuti ainult nõrgalt. Väga nõrk on piirituslambi leek, kui tema taht ja teda ümbritsev õhk on puhas.

Teisest küljest tuntakse küllalt palju nn. leegita põlemise juhtumeid. Leegita põleb näiteks hõõguv süsi.

«Külma» valguse puhul me näeme valguse levimist, millega kaasneb vaid aine väga nõrk soojenemine ja leegi täielik puudumine.

Mis on leek? See on hõõguvate gaaside vool. Kui leek sisaldab ainult kuumi gaase, siis on ta peaaegu värvitu ega kõlba valgustamiseks. Nii on näiteks võimatu gaasipliidi valgusel raamatut lugeda.

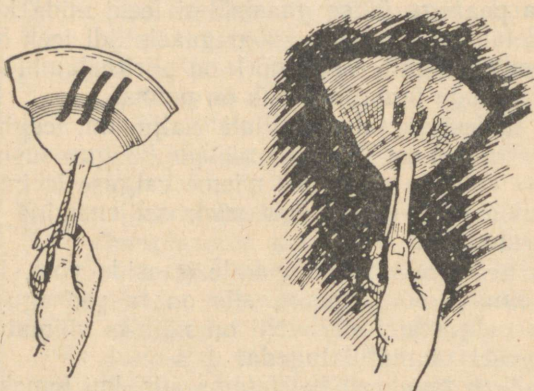
Leek hakkab tavaliselt helendama siis, kui temasse satuvad tahkete ainete — süsiniku ja teiste ainete — hõõguvad osakesed.

Tuletiku leek näib esimesel pilgul väga nõrgana. Tegelikult aga on selle leegi temperatuur küllalt kõrge: ligi 800 kraadi. Niisuguse temperatuuri juures sulavad tina, sea-tina ja alumiinium. Nii kõrge temperatuurini on selles leegis kuumenenud ka süsinikuosakesed, mis annavadki leegile heleduse.

Füüsikas on avastatud seadus, et mida tumedam on mingisugune keha külmas olekus, seda heledam on valgus, mida ta soojendamisel levitab. Võtame näiteks tüki valget portselani, millele on musta tulekindla värviga kantud joonis. Kuumutame seda portselanitükki näiteks 3000 kraadini. Nii kõrge temperatuuri puhul helendavad kõige rohkem just mustad kohad, mis on värviga kaetud (joon. 6). Samal viisil annavad ka mustad süsinikuosakesed kuumutamisel hoopis heledama valguse kui gaasid, mis tavaliselt külmas olekus on kas värvitud või ainult nõrga värvusega.

Kõige rohkem valgust peab kuumutamisel andma niisugune keha, mis külmas olekus on mustem kõigist teisest kehast. Aga mis keha see on? Missugune keha on

maailmas kõige mustem? Enne niisugusele küsimusele vastamist tuleb selgusele jõuda, mis on «valge» ja «must». Esimesel pilgul näib, et siin pole milleski selgusele jõuda, kuid asi pole nii lihtne. Ainult teadus annab sellele küsimusele täpse vastuse. Veelgi enam, teadus annab võimaluse kvantitatiivselt hinnata mitmesuguste kehade tumeduse või heleduse astet.



Joon. 6. Kui valgele portselanile kanda musta tulekindla värviga joonis (vasakul), siis portselani kuumutamisel valged kohad näivad pimeduses tumedana, must joonis aga helendab (paremal).

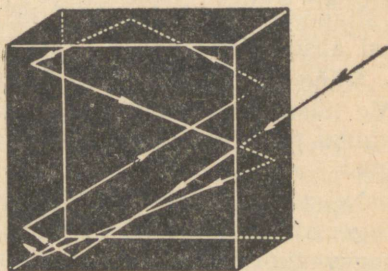
Mis toimub valguskiirtega, kui nad langevad mingisuguse kehale? Osa neist läbib keha, teine osa peegeldub, kolmas osa aga neeldub kehas. Kui valguskiirte põhimass läbib keha, siis me ütleme, et keha on läbipaistev; nii näiteks on läbipaistev aknaklaas, mis laseb läbi 75 protsenti temale langevast päikesevalgusest (ülejäanud kiired ta osaliselt neelab, osaliselt peegeldab). Läbipaistvad on õhuke veekiht ja puhas õhk. Kui aga keha pind peegeldab kogu või peaaegu kogu temale langeva valguse, siis näib keha valgena. Nii näiteks hea, puhas, valge paber peegeldab rohkem kui 90 protsenti päikesekiirtest; ka äsjasadanud lumi peegeldab suure osa päikesevalgusest. Kõige valgemaks aineks peavad füüsikud äsjavalmistatud pulbrilist magneesiumoksüüdi, mis peegeldab peaaegu kogu temale langeva valguse.

Sel juhul, kui keha neelab suure osa temale langevast valgusest, näib ta mustana. Mida suurem on neeldunud

valguse protsent, seda mustem on keha. Väga mustad on tahm ja must samet; viimane neelab peaaegu 99 protsenti temale langevast valgusest. Aga ka need ained pole siiski täiesti mustad, sest nad peegeldavad ikkagi kas või ühe protsendi valguskiirtest. Kuidas siis valmistada niisugust musta keha, mis neelaks praktiliselt kõik temale langevad valguskiired?

Seda teha polegi väga raske. Võtame väikesed vineerivõi kartongitükikesed, värvime nad mustaks ja kleebime nad tihedalt servapidi kokku, valmistades neist laste mängukuubiku sarnase karbikese. Karbi ühte seinatorkame nõelaga hästi väikese avause (joon. 7).

Nüüd asetame karbi päikesekätte, nii et päikesekiired langeksid tehtud avause. Mis toimub nende kiirtega karbi sees?



Joon. 7. Avause kaudu karbikesse sattunud kiired peegelduvad mitmekordselt karbi siseseintelt ega välju enam; avaus näib täiesti mustana.

Läbides avause, langevad kiired karbi põhjale, mis neelab neist suure osa. Ainult väike osa kiirtest peegeldub ning langeb karbi teisele seinale, kus jälle suurem osa kiiri neeldub, väiksem osa aga peegeldub ja langeb kolmandale seinale jne. Peegeldunud valguse igakordsel seinale langemisel osa temast neeldub, osa peegeldub. Muidugi jääb peegeldunud kiirte hulk iga korraga üha väiksemaks ja väiksemaks. Lõpuks, pärast kiirte mitmekordset neeldumist ja peegeldumist, neelavad karbi seinad praktiliselt kogu valguse. Avausest ei välju ühtki kiirt ja ta näib mustana. See ongi «absoluutselt must keha», mida me soovisime saada, sest selleks, et keha oleks absoluutselt must, on vajalik ainult üks tingimus: ta peab neelama kõik langevad kiired. Karbikese, ükskõik missugusest materjalist me ta valmistame, täidab suurepäraselt selle ülesande.

Vaadake heledal päikesepaistel suure maja valgekrohvitud seinale. Kui maja aknad on avatud, siis kaugelt te ei näe, mis asub tubades, ning aknaavad näivad mustade aukudena. See sünnib samuti äsja meie poolt vaadeldud põhjusel.

Absoluutselt musta keha võib saada ka teisiti. Võtke kimp tihedalt üksteise vastu surutud õmblusnõelu ja vaadake neid teravike poolsest küljest; kimbu see külj näib teile täiesti mustana. Nii toimub selle tõttu, et valgus langeb nõelateravike vahele, peegeldub ja neeldub seal korduvalt nagu ülalkirjeldatud karbiski ega välju enam.

Samal põhjusel on eriti mustad ka tahm ja samet: sameti pind koosneb väikestest, väga tihedalt asetsevatest karvakestest, tahma pind aga pisikestest terakestest. Niisugusele pinnale langenud valguskiired peegelduvad mitmekordselt sameti karvakestelt või tahma terakestelt, kusjuures iga kord suurem osa valgust neeldub ja ainult väiksem osa peegeldub. Kokkuvõttes peegeldavad sellised pinnad väljapoole väga vähe kiiri ja meenutavad mõningal määral absoluutselt musta keha.

Nüüd aga kuumutagem äsjavaadeldud nõeltekimpu tulel. Me näeme, et teravike pool hakkab tugevasti helendama, kimbu teise otsa pind seevastu kiirgab ainult nõrka valgust.

Neist katsetest võib teha väga tähtsa järelduse: mida tugevamini mingi keha külmas olekus neelab valgust, seda tugevamini helendab ta soojendamisel.

Praktiliselt absoluutselt musta keha õnnestus esmakordselt valmistada teadlastel Wienil ja Lummeril möödunud sajandi lõpul. Selleks kasutasid nad seest mustaks värvitud messingsilindrit, millesse nad tegid väikese avause. Silinder ümbritseti kaitsekestaga ja kest täideti kuuma auruga. Nii tehti selleks, et säilitada absoluutselt musta keha temperatuuri muutumatuna, laskmata tal ei soojeneda ega jahtuda, ja õppida tundma tema käitumist mitmesuguste temperatuuride juures, mis katse ajal ei tohtinud muutuda.

Osutus, et kui säilitada niisugusel mustal kehal muutumatu temperatuur, siis selle keha avause kaudu kiirguv valgusehulk võrdub neelduva valgusehulgaga. Kui keha kiirgaks valgust rohkem kui neelaks, siis hakkaks ta jahtuma, kui ta aga neelaks rohkem kui kiirgaks, siis hakkaks ta soojenema ja me märkaksime seda musta kehasse asetatud termomeetri abil. Kui termomeeter ei näita temperatuuri tõusu ega langust, siis vaadeldav absoluutselt must keha neelab täpselt niisama palju energiat, nagu ta kiirgab. Keha niisugust seisundit nimetavad teadlased tasa-

kaaluolekuks. Selles olekus jääb keha üldine energiatagavara muutumatuks.

Kui me hakkame musta keha uuesti soojendama, siis tasakaaluolek kaob ja keha hakkab jälle neelama energiat, mida me talle «anname». Niipea aga, kui me muudame musta keha temperatuuri püsivaks, taastub temas soojuslik tasakaal.

Kõik meie arutlused absoluutselt musta keha kohta tekitavad küsimuse: aga kuidas käituvad meid ümbritsevad valgust kiirgavad kehad? Osutub, et suur osa soojuslikest valgusallikatest (küünlad, lambid, isegi lõke) on üsna lähedased absoluutselt mustale kehale. Lähedane on talle ka kõige võimsam valgusallikas — Päike. Need kehad annavad kiirguse teel ära peaaegu kogu selle energia, mille nad mitmel teel saavad. Tuletiku ja Päikese erinevus kiirgamise suhtes on ainult selles, et tikk kiirgab energiat umbes 800-kraadise, Päikese pind aga umbes 6000-kraadise temperatuuri juures.

Näib, et kui kõik soojuslikud valgusallikad kiirgavad ära peaaegu kogu energia, mille nad saavad, siis peaksid nad olema väga kasulikud. Tegelikult aga pole see kaugeltki nii. Asi on selles, et soojusliku valgusallika soojendamiseks kulutatud energiast muutub valguseks ainult tühine osa. Isegi absoluutselt must keha, mis on kõige täiuslikum kõigist soojuslikest valgusallikatest, muudab 2000 kraadini kuumutatuna meie silmale tajutavaks valguseks ainult 0,3 protsenti kogu tema poolt neelatud energiast. Tõsi küll, kõrgema temperatuuri juures see protsent suureneb; nii näiteks 3000 kraadi juures muudab absoluutselt must keha nähtavaks valguseks juba umbes 3 protsenti kogu tema poolt kiirgavast energiast, kuid meile nähtavaks ja kasulikuks muudetud energiahulk jääb siiski väga väikeseks. Kui nii toimib absoluutselt must keha, siis tavalised valgusallikad annavad meile valgust veelgi «ihnsamalt».

Milleks siis muutub ülejäänud osa absoluutselt musta keha või tavaliste soojuslike valgusallikate poolt neelatud energiast? See energia kiirgub s'lmale nähtamatute kiirte näol, mida me ei saa vahetult valgustamiseks kasutada.

Valgustamiseks määratud tavaline elektrilamp täidab seega oma ülesannet halvasti. Muidugi on meie kaasaegne elektrilamp kasulikum ja mugavam kui näiteks lõke või petrooleumilamp, kuid kõige enam kasutatav 100-vatine elektrilamp muudab nähtavaks valguseks siiski ainult

2—3 vatti. Suure osa elektri jaamast saadavast energiast (mitte vähem kui 95 protsenti) muudab lamp soojuseks, mis kiirgub infrapunaste kiirte näol.

Sellest järeldub, et kõik soojuslikud valgusallikad on majanduslikult mittekasulikud isegi sel juhul, kui nad on lähedased kõige kasulikumale neist — absoluutselt mustale kehale.

Nagu me edaspidi näeme, on soojuslikel valgusallikatel veel üks suur puudus: nad annavad valgust, mis koostiselt tugevasti erineb tavalisest päikesevalgusest, millega meie silmad on harjunud.

Uued võimalused avab meile «külma» valguse kasutamine.

4. MIS ON «KÜLM» VALGUS

Nagu juba rääkisime, nimetatakse mitmesuguste kehade «külma» helendamist, mis toimub peaaegu nende kehade soojenemiseta, luminesentsiks; «külma» valgust kiirgavaid kehasid nimetatakse luminofoorideks.

Luminesentsi omapärasus seisab selles, et lumineseeriv keha (luminofoor), mis saab mingil teel väljastpoolt energiat, ei hakka kohe valgust kiirgama. Esineb paus energia saamise ja energia kiirgamise momendi vahel. Luminofoori poolt kiiratud valgus võib tekkida mistahes energialiigi «arvel». Seoses sellega on olemas luminesentsi eri liigid.

Luminesentsi võib esile kutsuda hõõrumise või löögiga, s. o. tekitada mehaanilise energia «arvel». Kui panna alasile mõned kollased uranüülnitraadi kristallid ja lüüa neile haamriga, siis kristallid «süttivad», levitades ilusat rohelist valgust. Siin on tegemist just «külma» valgusega — kristallid ei sütti sellepärast, et nad löögist kuumenevad. Kui viia need kristallid pakase kätte ja korrata katset, siis annavad nad veelgi heledamaid valgusesähvatusi. Hõõrumise või löögi teel saadud luminesentsi nimetatakse triboluminesentsiks.

Mõned kehad kiirgavad valgust silmale nähtamatute röntgenikiirte toimel — sel juhul on meil tegemist röntgenoluminesentsiga.

Televiisori ekraan helendab temale langevate elektriliselt laetud osakeste — elektronide — mõjul. See on niinimetatud katoodluminesents.

Kõigil neil juhtudel valgust kiirgav aine peaaegu ei soojene.

Eriti tähtis ja huvitav luminesentsi liik on fotoluminesents, mille puhul luminesentsvalgus tekib valgusenergia «arvel», valguse ühe «liigi» muutumisel teiseks «liigiks». Luminofoori poolt kiiratud valgus on kvalitatiivselt erinev kiiritava valgusallika valgusest. Selles raamatus me räägimegi peamiselt fotoluminesentsist, millel on suur praktiline tähtsus.

Mitmesuguste ainete helendamine neile langeva valguse mõjul toimub mitte ainult kiirituse ajal, vaid ka mõni aeg pärast kiirituse lakkamist; seda nähtust nimetatakse järelhelenduseks.

Mõnel kristallilisel ainel on omadus anda õige pikaajalist järelhelendust, mis võib kesta mitu tundi. Neid aineid nimetatakse kristallofosfoorideks. Niisugused ained on näiteks tsinksulfiid ja kaltsiumsulfiid, mis sisaldavad mõningaid lisandeid. Ereda päikesevalgusega kiiritatud ja seejärel pimedasse tuppa viidud pulbriline tsinksulfiid, milles sisaldub vähesel määral vaseühendeid, helendab sinakasrohelise valgusega. Kui see pulber on tehniliselt õigesti valmistatud, s. o. kui ta sisaldab vajaliku hulga vaske, ei sisalda helendamist häirivaid aineid jne., siis helendab see pulber mitu tundi ja valgustab ümbrust tuhmi valgusega, võimaldades eristada esemeid.

Tsinksulfiid ja kaltsiumsulfiid nagu «salvestaksid» päikesevalgust, et seda hiljem pimeduses ära anda. Need ained on omamoodi akumulaatorid, päikeseenergia panipaigad.

Niisuguste ainete helenduse värvus sõltub sellest, mis sugust metalli on lisatud põhiale; ja samuti luminofoori valmistamise viisist. Tsinksulfiidi helenduse värvus näiteks võib muutuda punasest siniseni.

Esimese luminofoori valmistas juba XVII sajandil Bolognast pärit olev itaalia kingsepp Vincenzo Cascarola. Ta kuumutas raskepao tükki ja siis jahutas seda. Seejuures selgus, et raskepao tükk helendab pimeduses pärast seda, kui teda on kiiritatud päikesevalgusega.

Looduses on meie ümber suur hulk valgust neelavaid ja samal ajal peaaegu mitte soojenevaid kehasid, mis on neid ümbritseva keskkonnaga soojuslikus tasakaalus. Sel juhul peavad valgust neelavad kehad tingimata kiirgama energiat, muidu kaoks kohe tasakaal. Missuguseid laineid nad kiirgavad, see on juba teine küsimus, mis sõltub kiirgava

keha temperatuurist. Tasakaalu säilitamiseks on aga tingimata vaja, et valgust neelavad kehad ise kiirgaksid. Kõik see on õige siiski ainult soojuskiirguse puhul, ainult soojuslike valgusallikate korral.

Hoopis teisiti on asi «külma» helenduse — luminesentsi — puhul.

Lumineseeriv aine, näiteks tsinksulfiid, ei ole keskkonnaga soojuslikus tasakaalus. Muidugi ei saa ka tema kiirata rohkem energiat, kui ta varem sai valgus- ja elektrienergia või hõõrdumise arvel jne., sest vastasel korral oleks rikutud energia jäävuse seadus, kuid lumineseerivad ained annavad väljastpoolt saadud energiat ära nähtava valguse näol.

Luminofoor kiirgab teistsuguse koostisega valgust kui see, mille ta vastu võttis. Luminofoori aines toimub valguse transformatsioon, muundumine. Eriti tähtis on, et luminofoorid kulutavad aineosakeste soojuslikule liikumisele, mis valgustamiseks on kasutu, ainult tühise hulga energiat. Peamise hulga sellest energiast, mille luminofoorid on endasse kogunud, muudavad nad varem või hiljem valguseks.

Luminofooridel on soojuslike valgusallikatega võrreldes veel üks väga tähtis eelis. Asi on selles, et kõik soojuslikud valgusallikad peale Päikese saadavad välja suure osa kiiri niisuguste lainepikkustega, mis on silmale täiesti tajumatud. Meie silm on kohandunud päikesevalgusele, mis on silmale kõige vastuvõetavam.

Suure osa oma energiast kiirgab Päike 0,8 kuni 0,4 mikroni pikkuste elektromagnetiliste lainete näol, s. o. nähtava valgusena. Hoopis teisiti käituvad kõik teised soojuslikud valgusallikad. Suurem osa nende poolt kiiratavast energiast langeb spektri sellistele osadele, mis pole meie silmadele tajutavad. See seletub asjaoluga, et me ei saa oma soojuslikke valgusallikaid soojendada küllalt kõrge temperatuurini. Mida madalam on soojusliku valgusallika temperatuur, seda rohkem ta kiirgab infrapunaseid kiiri. Kui me kõrgendame kiirgava keha temperatuuri, hakkab ta andma üha rohkem punaseid, seejärel aga oranže kiiri; edasisel soojendamisel nihkub tema helendus kollaste kiirte piirkonda, kusjuures ta annab üha rohkem ja rohkem meie silmadele valgusena mõjuvaid kiiri. Selleks, et peamine osa kiirgusest langeks spektri nähtavasse ossa, nagu see toimub päikesekiirte puhul, peab valgusallikas olema kuumu-

tatud kuni 6000 kraadini, kuid nii kõrge temperatuurini ei saa me praegu soojendada ühtki praktiliselt valgustamiseks kasutatavat keha. Valge hõõgumiseni kuumutatud volframniidi temperatuur elektrilambis on ainult 2700 kraadi. Tunduvalt tõsta seda temperatuuri ei saa, sest siis volfram osaliselt aurustub, seejärel aga sulab ära.

Üleliidulises Elektrotehnika Instituudis on valmistatud tantaalkarbiidist hõõgniitidega lampe; niisugune niit talub temperatuuri kuni 4500 kraadi ja sellisest lambist saame muidugi päikesevalgusele lähedasema valguse kui tavalisest volframniidiga elektrilambist, kuid praegu on sellised lambid real põhjustel veel ebapraktilised.

Kuidas siis valmistada kunstlikku valgusallikat, mille kiirguse koostis oleks samasugune kui Päikesel või vähemalt sellele lähedane?

Siin tulevad appi helendavad segud — luminofoorid. Meil on suur valik mitmesuguseid luminofoore, mis annavad kõige erinevamate lainepikkustega valgust. Me võime soovikohased neist välja valida ja saada neilt soovitud koostisega valgust. Luminofoore saab valida nii, et nad kiirgavad koostiselt päikesevalgusele väga lähedast valgust.

Soojuslike valgusallikatega me ei saa seda teha, sest nende kiirguse koostis sõltub temperatuurist. «Külma» valgusallika kiirguse koostis aga ei sõltu temperatuurist.

Peatume veidi üksikasjalisemalt sellel, mis toimub valguse transformeerumisel luminofoori aines. Et seda huvitavat nähtust paremini mõista, tuleb tutvuda õpetusega kvantidest.

Siiani me rääkisime, et valgus on elektromagnetiliste lainete voog, kuid selline määratlus ei kajasta valguse kõiki omadusi: valgus on samaaegselt ka eriliste materiaosakeste — footonite ehk valguskvantide — voog. Aine kiirgab ja neelab valgust mitte pidevalt, vaid alati ainult teatud «annustena» — kvantidena. Ükski aatom ei või saada ega ära anda väiksemat energiahulka, kui on üks terve kvant. Üks keha võib anda teisele ühe, kaks või kolm kvanti, kuid ei saa näiteks anda kaks ja pool kvanti, sest energiakvandid ei ole jagatavad.

Valgusenergia kvantide suurus ei ole ühesugune: mida suurem on elektromagnetilise lainetuse võngete arv sekundis, seda suurem on iga kvandi energia.

Nagu te juba teate, on spektri nähtavas osas kõige pike-

mad punase valguse lained, kõige lühemad aga violetse valguse lained. Tähendab, punase kiirguse kvant kannab vähem energiat kui violetse kiirguse kvant.

Mis siis toimub valguskvantidega luminofoori aines?

Asetame spektri violetsesse vööndisse luminofoori ja hoiame teda seal mõne minuti. Seejärel katame toa aknad eesriietega. Me märkame, et luminofoor helendab. Osutub aga, et ta ei kiirga mitte violetseid kiiri, millega me teda kiiritasime, vaid punakas-oranže või rohelisi kiiri. Tähendab, luminofoor mitte ainult neelas päikeseenergiat, vaid ka muundas seda. Seejuures luminofoor annab ära sama-suguse hulga energiakvante, nagu ta neelas. Igale kiiratavale kvandile vastab üks neeldunud kvant, kuid luminofoori poolt kiiratavad kvandid kannavad vähem energiat kui neelatud kvandid. Niisiis kvantide muundamisel luminofoor nagu «omandaks» osa energiast. Energia see osa muundub soojuseks ega ole kasutatav valgustamiseks. Nagu näeme, ei saa ka siin läbi ilma kadudeta, kuid võrreldes kadudega, mis tekivad soojuslikes valgusallikates, kus suurem osa valgusallika poolt neelatud energiast muundub soojuseks, on kaod «külma» valguse puhul tublisti väiksemad.

Eriti huvitavad on juhtumid, kus luminofoor neelab nähtamatute ultravioletsete kiirte kvante ja muudab need nähtava valguse kvantideks. Päikesevalgus sisaldab väga palju ultravioletseid kiiri, ja kui õhk on puhas ning läbipaistev, langeb tunduv osa neist maapinnale.

Kui luminofoori valgustada nende nähtamatute kiirtega, hakkab ta helendama, kiirates nähtavaid kiiri. Niisiis luminofoor muudab valgustamiseks kõlbmatu nähtamatu valguse silmale nähtavaks siniseks, helesiniseks, roheliseks jne. valguseks.

Missugust valgust luminofoor kiirgab, sõltub sellest, millistest ainetest ja millisel viisil ta on valmistatud.

5. «KÜLMA» VALGUSE ALLIKAD

Suurtes linnades võib kaupluste akendel, siltidel ja reklaamidel sageli näha pikki klaastorusid, mis õhtuti annavad ilusat punast, sinist või rohelist valgust.

Helendavad reklaamtorud on üks kõige varasematest «külma valguse» kasutusviisidest. Esmakordselt õnnestus

sellist toru (täpsemalt, helendavat kera) valmistada suurel vene teadlasel M. V. Lomonossovil. Ta võttis klaaskera, sulatas sellesse kaks raudvarba, pumpas siis osa õhku kerast välja ja ühendas varbade otsad kõrgepinge allikaga. Elektrivoolu mõjul hakkas hõrendatud õhk kera vilkuva valgusega helendama. Helendus sarnanes selle valgusega, mis ilmub taeva laotusele virmaliste näol. M. V. Lomonossov oletas, et virmaliste tekkimise ja tema kera vilkuva valguse ilmumise põhjus on üks ja seesama: elektrivoolu toime gaasidele.¹

Möödunud sajandi kahekümnendail aastail ilmusid hõrendatud gaasidega täidetud torud (huumtorud) füüsikalaboratooriumidesse «geissleri torude» nime all (teadlase Geissleri nime järgi).

Huumtoru kujutab endast pikka, mõlemast otsast suletud klaastoru, millesse on sulatatud metallvarvad — elektroodid. Enne kui toru suletakse, pumbatakse temast õhk välja ja lastakse selle asemele natuke mingisugust gaasi: hapnikku, lämmastiku oksüüde, süsihappegaasi, neooni, argooni jne. Nii jääb gaas torusse väga nõrga rõhu alla. Kui toru elektroodid ühendada kõrgepinge allikaga, läbib toru elektrivool ja gaas hakkab valgust kiirgama. XIX sajandi lõpul kasutati selliseid torusid Inglismaal elamute ja tööruumide valgustamiseks. Valmistati hiiglasuuri, kuni 60 meetri pikkusi klaastorusid ja täideti need kõige mitmesugusemate gaasidega, mis andsid oranži, sinist ja rohelist valgust. Need torud kiirgasid heledalt, kuid eluruumide valgustamiseks siiski ei kõlvanud, sest nad nõudsid kuni 30 000-voldist kõrgepinget, millega oli elukardetav kokku puutuda; pealegi vilkusid need torud tugevasti ja nende valgus oli silmale harjumatu varjundiga.

Lumineseerimiseks vajaliku energia annab huumtorusse juhitud elektrienergia. Toru negatiivselt elektroodilt — katoodilt — eralduvad töötamisel kogu aeg elektronid. Nad pörkavad kokku torus oleva gaasi aatomitega, ergastavad neid ja sunnivad nende elektrone tuumale lähimatelt orbitidelt üle hüppama kaugemal asuvatele orbitidele. Oma normaalsesse olekusse tagasi pöördudes kiirgavad ergastatud elektronid ühe või teise lainepikkusega valgust.

Reklaamiks või signaliseerimiseks kasutatavad huum-

¹ Virmalisi käsitletakse üksikasjalisemalt N. G. Novikova raamatus ««Ebatavalised» taevanähtused», ERK, Tallinn, 1955.

torud sisaldavad käesoleval ajal tavaliselt neooni, argooni või nende segu. Neoontorud annavad punast, argoontorud helesinist valgust. Gaaside segamisel mitmesugustes proportsioonides saadakse rohekas või roosakas valgus. Lisaks sellele sõltub helenduse värvus rõhust torus.

Huumtorud on tavalistest volfram-hõõgniidiga lampidest ökonoomsemad, kuid nende vilkuv valgus on ebasobiv valgustamiseks.

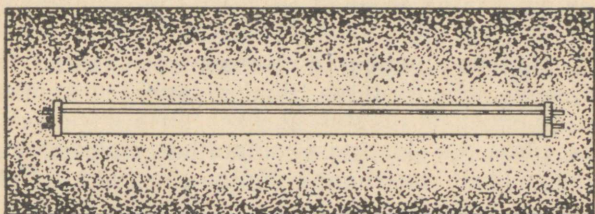
Aastat kaksikümmend viis tagasi ilmusid esmakordselt kasutusele uued «külma» valguse allikad — elavhõbedalambid. Need lambid töötavad nagu huumlambidki, ainult valgus ei kiirgu neis gaasidest, vaid elavhõbedaurust. Elavhõbedaaatomeid ergastatakse ka siin elektrivooluga, kuid tavaliselt need lambid ei vaja eriti kõrget pinget. Neile piisab tavalisest pingest, mida annavad linnade elektri-jaamad (127 või 220 volti).

Temperatuur ei ole sellistes lampides väga kõrge — ainult 400—500 kraadi. Elavhõbedalamp on varustatud niidikesega nagu tavaline elektrilampki, kuid sel niidikesel on siin täita hoopis teistsugune ülesanne. Elavhõbedalampides on niidike kaetud õhukese baariumikihiga. Baarium on element, mille aatomid kaotavad soojendamisel kergesti elektrone. Kui elavhõbedalambis olevat niidikest soojendada elektrivooluga, paiskab niidikesel olev baarium elavhõbedauruga täidetud ruumi suure hulga elektrone. Need elektronid ergastavadki elavhõbedaaatomeid. Baariumiaatomitest välja lendavad kiired elektronid löövad elektrone välja elavhõbedaaatomeist. Olles löögi mõjul kaotanud elektrone, muutuvad elavhõbedaaatomid elektriliselt laetuks, s. o. ioniseeruvad. Tänu suurele hulgale laetud aatomitele hakkab gaas torus juhtima elektrivoolu ja ergastatud elavhõbedaaatomid hakkavad kiirgama valgust.

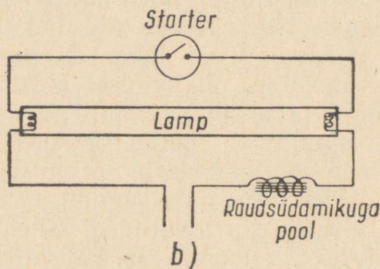
Elavhõbedalambid annavad sinakasrohelist valgust ja kuigi nad on tavaliste elektrilampidega võrreldes väga ökonoomsed, on neid siiski ebamugav ja isegi kahjulik rakendada elamute või tööruumide valgustamiseks. Nende valgus on silmale harjumatu. Inimeste näod näivad selles valguses rohelistena, huuled mustadena. Need lambid kiirgavad palju ultravioletseid kiiri, mille toimel hakkavad helen-dama paljud esemed ja samuti inimeste hambad, juuksed, küüned ning isegi nahk. Helendab ka inimese silma lääts. Kogu ruum näib olevat täis helesinist udu.

Seepärast kasutatakse praegu elavhõbedalampe peami-

selt kui ultravioletse kiirguse allikaid, näiteks inimese keha kiiritamiseks mõningate haiguste puhul. Selleks tehakse elavhõbedalamp mitte klaaskattega, sest klaas peab kinni suure osa ultravioletsetest kiirtest, vaid kvartskattega, mis laseb ultravioletseid kiiri hästi läbi. Haiglates nimetatakse selliseid elavhõbedalampe tavaliselt «kvartslampideks»,



a)



Joon. 8. Luminestantslambi välisvaade (a) ja ehituse skeem (b). Lambi sisselülitamisel starter ühendab vooluringi; pärast elektrodide soojenemist lülitub starter automaatselt välja ja vool läbib ise lampi ühest elektroodist teiseni.

mõnikord aga ka «kõrgustikupäikeseks», sest kõrgel mägedes on päikesevalgus tänu õhu puhtusele rikas ultravioletsetest kiirtest.

Vaatamata elavhõbedalampide nimetatud puudustele, mis ei võimalda neid kasutada vahetult valgustamiseks, aitavad just elavhõbedalambid lahendada valgustamise tähtsaimat probleemi: luua niisugune valgusallikas, mis saadaks samasuguseid kiiri nagu Päike. Neid valgusallikaid nimetatakse luminestantslampideks (joon. 8, a).

Luminestantslamp kujutab endast elavhõbedalambi ja

luminofoori kombinatsiooni. Mõnikord nimetatakse selliseid lampe mitte päris õigustatult «päevavalguslampideks».

Luminestsentslambi ehitus on küllaltki lihtne (joon. 8, b). Kõige levinum 15-vatine luminestsentslamp kujutab endast klaastoru, mille läbimõõt on umbes 4 cm ja pikkus 45 cm. Välimuselt on toru piimvalge ja näib, nagu oleks ta valmistatud mattklaasist. Tegelikult on see tavaline läbipaistev klaas, kuid tema sisepind on kaetud luminofoori kristallide valge kihiga, mis muudab ta matiks.

Õhust tühjaks pumbatud torusse on lastud natuke argooni; peale selle on torus tilgake elavhõbedat, mis elektrootodide soojenemisel muutub auruks, täites kogu toru. Toru mõlemas otsas on klaasisse sulatatud elektrootodid, mis kujutavad endast baariumoksiidiga kaetud volframspiiraale.

Lamp on ehitatud nii, et kui me lülitame ta elektrivõrku, siis vool läbib elektrootodid ja paneb nad hõõguma. Elektrootodide pinnal olevad baariumiaatomid hakkavad eraldama elektrone, mis püüavad torus läheneda positiivselt laetud elektrootodile — anoodile. Liikumisel elektronid põrkavad kokku elavhõbeda- ja argooniaatomitega, mis elektronide löökide mõjul muutuvad laetud ioonideks. Elektrivool, mida me kasutame valgustamiseks ja muuks otstarbeks, on vahelduvvool, mis muudab oma suunda 50 korda sekundis. Seepärast toru elektrootodid muutuvad vaheldumisi positiivseks ja negatiivseks, anoodiks ja katoodiks, ning ioonid liiguvad vaheldumisi kord ühele, kord teisele elektrootodile sõltuvalt oma ja elektrootodi laengu märgist. Põrgates vastu elektrootode, soojendavad elektronid neid. Lõpuks (see toimub 1—2 sekundi jooksul) soojenevad mõlemad elektrootodid sel määral, et neid elektrivooluga edasi soojendada pole enam mingit vajadust. Sel momendil katkestab eriline riist — «starter» — voolu andmise elektrootodide soojendamiseks. Vool, mis varem liikus mööda elektrootode, läbib nüüd toru otse ühest elektrootodist teiseni. Tingimused elektrivoolu selliseks liikumiseks on juba ette valmistatud, sest torus on loodud baariumiaatomeist eralduvate elektronide ning elavhõbeda- ja argooni-ioonide vool.

Kui nüüd torus on loodud katkematu elektrilahendus, siis elavhõbeda aatomid ja ioonid ergastuvad ning levitavad nähtavat ja nähtamatut valgust. Ultravioletsed kiired langevad toru sisepinnal olevatele luminofoori kristallidele ja sunnivad neid kiirgama nähtavat valgust, mis valgustab

eredalt toru ümbrust. Toru sisepinna katmiseks valitakse niisugune luminofoor, et tema kiirguse koostis oleks lähedane päikesevalguse koostisele.

Päevavalguslambi töötamisel ei tõuse temperatuur temas üle 50 kraadi ja isegi kui temperatuur tõuseks või langeks, ei muutuks selle tagajärjel lambi valgustamisvõime, sest luminofoori kiirguse iseloom ei sõltu temperatuurist; nagu juba öeldud, on see «külma» valgusallika üks peamisi erinevusi soojustlikust valgusallikast.

Valides vastava luminofooride segu, saab muuta ka lambi kiirguse spektraalset koostist, tehes tema valguse soovikohaselt kollasemaks või punasemaks. Nõukogude teadlased on välja töötanud retseptid vajaliku koostisega valgust andvate luminofooride saamiseks.

On olemas küllalt palju kristallilisi luminofoore. Kristallofosfooridest on kõige levinumad mõnede metallide ühendid väävliga: tsinksulfiid, kaltsiumsulfiid, strontsiumsulfiid, baariumsulfiid. Kõik need ained kujutavad endast väikestest kristallidest koosnevat valget või kollakat pulbrit.

Puhas kaltsiumsulfiid aga ei helenda, ükskõik kui hoolikalt me teda ka valmistaksime. Kõik niisugused soolad annavad «külma» helendust ainult sel juhul, kui nende kristallidele on lisatud väike kogus teisi aineid — aktiveerijaid. Aktiveerijatena kasutatakse tavaliselt mitmesuguste raskete metallide — hõbeda, vase, tseriumi, mangaani, vismuti ja seatina — sooli. Lisandeid võib kristallofosfoorides sisalduda ainult tuhandikke või kümnetuhandikke protsente. Kui lisandite sisaldust suurendada, siis kristallofosfoorid ei helenda.

Hästi helendava kristallofosfoori valmistamiseks vajalikud materjalid peavad olema keemiliselt hoolikalt puhastatud. Ainete puhastamine pole sugugi kerge ülesanne, kuid see on möödapääsmatult vajalik, sest isegi kõrvaliste ainete tühised jäljed rikuvad kogu asja; nii näiteks kaduvväike rauasisaldus (hoopis väiksem hulk rauda, kui sisaldub tavalises joogivees) hävitab enamiku kristallofosfooride luminestseerimisvõime.

Hoolikalt puhastatud ained segatakse ning nende segu kuumutatakse elektriahjus 700- kuni 1500-kraadise temperatuuri juures erilistes tulekindlates tiiglitel (tiigel on nõu ainete kuumutamiseks; tavaliselt on see kaanega varustatud portselan-, grafiit- või kvartskausike).

Meie aja teadus on täielikult selgitanud kristallide¹ ehituse küsimuse. Nagu me teame, koosnevad soolade kristallid ionidest, s. o. mitmesuguste elementide elektriliselt laetud aatomitest. Nii näiteks keedusoola — naatriumkloriidi — kristall koosneb positiivselt laetud naatriumi- ja negatiivselt laetud kloori-ionidest. Ioonid on keedusoola kristallis asetatud kindla korra järgi ja moodustavad nn. kristallvõre, millel on kuubi kuju. Kuubi nurkades asetsevad naatriumi- ja kloori-ionid niisuguses omavahelises järjestuses, et iga naatriumi-ion on ümbritsetud kuuest kloori-ionist ja iga kloori-ion kuuest naatriumi-ionist. Neid kohti, kus asuvad ionid, nimetatakse kristallvõre sõlmedeks. Kristallvõre ionid võnguvad kogu aeg, kuid nii, et nad ei puuduta kõrvalasuvaid ioone. Ioonidevaheliste külgetõmbe- ja tõukejõudude tasakaalu tõttu on kristallvõre püsiv ja selleks, et teda purustada, tuleb kulutada energiat.

Mitmesugustel sooladel on kristallvõred, mis erinevad omavahel ionide vastastikuse asetuse, nende vahemaa ja võre geomeetrilise vormi poolest.

Mõned teadlased oletavad, et kristallofosfoori valmistamiseks kasutatavate ainete segu kuumutamisel hakkavad kristallvõre põhiaine (tsinksulfiidi, kaltsiumsulfiidi jne.) ionid tugevasti võnkuma ning sidemed võre positiivsete ja negatiivsete ionide vahel nõrgenevad. Kui pärast kuumutamist lasta segul jahtuda, siis tekib uus kristallvõre, kuid see pole enam nii rangelt «organiseeritud», kui oli enne kuumutamist. Uues kristallvõres muutub teataval määral ionide asetuse: mõni võre sõlmedest võib jääda ilma ionita ning võre sõlmedesse võivad sattuda aktiveerija aatomid ja asetuda seal põhiaine ionide kohale.

Peale põhiaine ja aktiveerija peab iga kristallofosfoor sisaldama veel nn. sulatajat. Sulatajateks on tavaliselt võrdlemisi kergesti sulavad soolad: keedusool, kaaliumkloriid, booraks, naatriumsulfaat ja teised.

Sulatajate osa kristallofosfooride valmistamisel pole veel päris selge, kuid arvatavasti seisab ta selles, et sulataja, mis vähendab põhiaine sulamistemperatuuri, soodustab võre deformeerumist ja aktiveerija aatomite sissetungimist

¹ Kristallide kohta leiate üksikasjalisemaid andmeid professor A. I. Kitaigorodski raamatust «Kristallid», ERK, Tallinn, 1952.

võresse, samuti ionidest vabade «tühjade» sõlmede tekki-
mist. Mõnikord astuvad sulataja koostisosad keemilisse
reaktsiooni nii aktiveerija ionide kui ka luminofoori põhi-
ainega. Mõnel juhul võib pärast segu kuumutamist sulataja
jäänused veega välja pesta ja siis sulatajast puhastatud
luminofoori kuivatada, ilma et luminofoor seejuures kao-
taks helendamisvõimet. Seega etendab sulataja nähtavasti
ainult abistavat osa, nõrgendades kristallvõre ionide oma-
vahelisi sidemeid, nii et kui sulataja on oma ülesande täit-
nud, siis võib teda isegi täielikult eemaldada.

Valides vastavad luminofoorid ja aktiveerija ning muutes
nende töötlemise tingimusi, võime saada lühemat või pike-
mat aega helendavaid luminofoore ja üheks või teiseks ots-
tarbeks vajaliku koostisega kiirgust.

Käesoleval ajal laseb meie tööstus välja «päevavalgus-
lampe» ning «valgeid» ja «soevalgeid» luminestsentslampe.
«Päevavalguslampide» valgus on koostiselt väga lähedane
valgusele, mida me näeme lagedal kohal pilves ilmaga.
«Soevalged» lambid annavad «pehmet», silmale meeldivat
valgust, mis on lähedane tavalise elektrilambi valgusele ja
seega õhtul silmale harjunum.

Luminestsentslambid on tublisti ökonoomsemad kui tava-
lised hõõglambid: nad muudavad nähtavaks valguseks
10—20 protsenti nende poolt kasutatavast elektrienergiast.
Muidugi pole see veel kuigi palju, ent kui me meenutame,
et tavaline elektrilamp kasutab nähtava valguse kiirgami-
seks ainult 2—3 protsenti elektrienergiast, siis tuleb tun-
nistada, et luminestsentslampide kasutuselevõtmine on
suur samm edasi.

Luminestsentslampide valgus näib algul mõnevõrra eba-
tavalisena, kuid aegamööda silmad harjuvad temaga ja ta
väsitab silmi tunduvalt vähem kui tavaliste lampide val-
gus, mis sisaldab palju kollaseid ja punaseid kiiri.

Tuleb veel lisada, et luminestsentslampide iga on 3—6
korda pikem tavaliste hõõglampide east.

6. «KÜLM» VALGUS TEHNIKAS JA IGAPÄEVASES ELUS

Luminestsentslampe kasutatakse praegusel ajal meie
elus küllaltki laialdaselt. On tööstusharusid, milles lumi-
nestsentslampide kasutuselevõtmine osutus väga tähtsaks
ja kasulikuks. Tekstiilivabrikuis on sellise valguse juures

kanga kude hästi nähtav ja mustrid paistavad nende loomulikes värvides. Lumineestsentslampide valgusel suureneb tunduvalt tööviljakus trükikodades ja mõnedes teistes ettevõtetes. Suurt tähtsust omab lumineestsentslampide kasutamine avarate jaamahoone, vestibüülide, kinode, teatrite ja kaupluste valgustamisel. Uus valgustus leiab üha laialdasemat rakendamist igapäevases elus ja tehnikas.

Kuid kaugeltki mitte ainult sellega ei piirdu kehade «külma» helenduse ärakasutamine. Lumineestsentsi nähtust kasutatakse teaduses ja tehnikas kõige mitmekesisemateks otstarveteks.

Tahkete luminofooride — kristallofosfooride — lumineestsents on leidnud laialdast kasutamist rakenduslikus maalikunstis. Seda kasutatakse näiteks teatrites ja tsirkustes. Eriti efektsed on balletid ja laste muinasjutunäidendid, milles kasutatakse helendavaid kostüüme ja dekoratsioone. Meie ees on näiteks talvemaastik: lumega kaetud sammaldunud kuuseoksad, lumevaibaga kaetud väli, lumi majakatustel. Kuid tarvitseb vaid tütarlapsel pöörata sõrmes võlusõrmust ja kohe muutub kõik: pole enam mingit lund, ühe hetke jooksul kattub aas eredate lilledega, rohelistes rohus punetavad maasikad. Kuidas seda tehakse?

Tavaliste õlivärvidega maalitud ja talve kujutavate teatridekoratsioonide peale on kunstnik kristallofosfooride abil maalinud suvise maastiku. Pulbrilistest luminofooridest koosnevad helendavad värvid on tavaliste värvide foonil peaaegu märkamatud, eriti kaugelt, kuni nad ei helenda. Kui on tarvis talve suveks muuta, lülitatakse sisse vaataja eest varjatud ultravioletse valguse allikad — elavhõbedalambid — ja helendavad värvid muutuvad nähtavaks, andes mitmesuguseid toone. Et vaataja ei näeks sinakasrohelist valgust, mis kiirgub elavhõbedalampidest koos ultravioletsete kiirtega, selleks on lambid kaetud eriliste valgusfiltritega — nikkeloksüüdi sisaldavate tumedate klaasidega. Sellised klaasid tõkestavad nähtavaid valguskiiri, kuid lasevad hästi läbi nähtamatuid ultravioletseid kiiri.

Tavalistel värvidel, millega kunstnikud maalivad, on väheküllastunud toonid. See tähendab, et näiteks punane või roheline värv peegeldab peale punaste ja roheliste kiirte veel kõrvalisi kiiri, mis pole ei punased ega rohelised ja on kunstnikule ülearused, mittevajalikud. Pealegi ei

ole tavalised värvid küllaldaselt eredad: valge pole küllalt valge, must pole küllalt must jne. Helendavatel värvidel võivad aga olla küllastunud toonid, sest nad saadavad välja ainult kindla lainepikkusega valgust; alati on võimalik valida niisuguseid luminofoore, mis kiirgaksid ainult kunstnikule vajaliku värvusega valgust.

Suurtes linnades tarvitatakse paljudes kauplustes laialdaselt luminestsentsreklaame. Vitriinides asuvad puu- ja juurvilja ning muid kaupu kujutavad maketid, mis on kaetud helendavate segudega. Samasse on varjatult paigutatud musta klaasiga — valgusfiltriga — kaetud elavhõbedalambid, mis valgustavad vitriini kõrvalt ja alt. Lampidest kiirguvad nähtamatud ultravioletsed kiired langevad helendavale segule ning vitriinis olev juur- ja puuvili «elustub»: õunad ja pirnid helendavad õrna rohekaskollase ja roosa valgusega, viinamarjakobarad roheline või tumelilla valgusega.

Mõni aasta tagasi alustas nõukogude eriteadlane insener P. P. Vorontsov Ivanovos töid helendavate segude kasutuselevõtmiseks tekstiilitööstuses. Tal õnnestus saada ilusaid, mahapesematute helendavate värvidega kaetud kangaid; neid kangaid võib pesta ja triikida, ilma et nad seejuures kaotaksid helendamisvõimet. Praegu juba toimub Ivanovo tekstiilivabrikuis selliste kangaste katseline tootmine. Niisuguste kangaste värvimiseks kasutatakse pikaajalise toimega luminofoore, mis päeval varuvad päikesekiirte energiat ja pimeduse saabudes annavad seda edasi mitmevärvilise valgusena.

Eriti laialdaselt saab helendavaid kangaid kasutada dekoratiivseks otstarbeks: peo- ja karnevaliülikondade valmistamisel, laste nääripidudel jne.

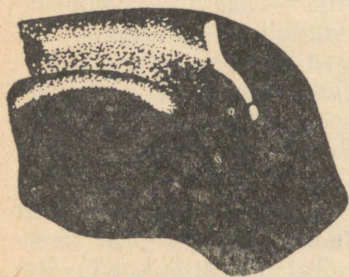
Ebatavaliselt ilusana näivad helendavate kangastega kaunistatud toad. Selline tuba täitub öösel tuhmi, silmi mitte väsitava valgusega; see ei sega magamist ja samal ajal võimaldab elektrivalgust lülitamata leida, mis vaja. «Helendavad seinad» näivad läbipaistvatena nagu klaas. Näib, nagu oleks valgus kuskil seina taga ja paistaks läbi seina. Kes esmakordselt näeb helendavat seina või sammast, ei usalda tavaliselt sellele toetudagi, kartes «klaasi purustada».

Kui plastmassile lisada tsinksulfiidi ja teha sellest lauambi kuppel, siis lambi põledes tsinksulfiid neelab ener-

giat. Tarvitseb aga lambi kustutada, kui lambikuppel hakkab helendama, valgustades nõrgalt kogu ümbrust.

Vasega aktiveeritud tsinksulfiidist valmistatud helendavate segudega võib katta mitmesuguseid kirju, mis peavad olema pimeduses nähtavad: kirju linnatänavate nimesiltidel, mitmesuguseid kirju vagunites, laevadel ja jaamades jne.

Luminestsentsi abil saab vahel avastada seda, mis paljale silmale jääb nähtamatuks.



Joon. 9. Luminestsentsdefektoskoopia. Tootesse on karastamisel tekkinud pragusid. Luminofoori lahus praos helendab ultravioletsete kiirte toimel.

Mõned kehad ja esemed näevad ultravioletsete kiirte valguses välja hoopis teisiti kui tavalises valguses, sest nende üksikud piirkonnad või osad hakkavad ultravioletsete kiirte mõjul luminestseerima.

Tehases on näiteks valmistatud metallist detail. Väliselt näib selle pind laitmatu; pole märgata mingisuguseid pragusid ega rikkeid. Kuid meie silm võib ka mitte avastada väikesi pragusid, mis aga töö juures võivad põhjustada avarii. Luminofoorid võimaldavad avastada metalltoodete pinnal pisemaidki

pragusid ja rikkeid. Uuritav pind kaetakse orgaanilise luminofoori lahusega. Siis pühitakse lahus pinnalt, nii et ta jääb püsima ainult pragudesse. Pärast seda valgustatakse detaili ultravioletse valgusega. Pragudesse jäänud luminofoor hakkab helendama ja praod muutuvad selgelt nähtavaks (joon. 9). Detailide sellist töötlemist juba kasutataksegi tehastes. Seda meetodit nimetatakse luminestsentsdefektoskoopiaks. Selle meetodi puhul võib kasutada hetkelise toimega luminofoore, mis lõpetavad helendamise kohe pärast ultravioletse kiirguse väljalülitamist.

Mõned mineraalid on ise loomulikud luminofoorid ja helendavad, kui neid kiiritada ultravioletsete kiirtega. Helenduse värvuse järgi saab öelda, missuguse mineraaliga on tegemist, helenduse tugevuse järgi aga saab määrata, kui palju antud mineraali kivim sisaldab. Niisugust määramismeetodit nimetatakse luminestsentsanalüüsiks.

Mõned kivid helendavad mitte ultravioletsete kiirte, vaid röntgenikiirte toimel. Seejuures k'irgavad nad ise ultravioletseid kiiri, mida saab avastada nende toime tõttu foto-plaadile.

Luminestsentsanalüüsi kasutatakse klaasi töötlemisel ja sorteerimisel, sest mõned klaasisordid helendavad ühe või teise varjundiga nende kiiritamisel ultravioletsete kiirtega.

Minevikus kasutasid kunstnikud maalimisel sageli selliseid värve, mille koostisse kuulusid ultravioletsete kiirte või röntgenikiirte mõjul helendavad ained. Need kiired võimaldavad avastada vanaaegse pildi, millele hilisem kunstnik, kelle teosed on hoopis väiksema kunstiväärtusega, on maalinud uue pildi. Kui sellist «kahekihilist» maali valgustada ultravioletsete kiirtega või röntgenikiirtega, siis hakkab vanaaegne maal hilisema värvikihi all helendama.

Vana aja inimeste igapäevaste esemete ja tarberiistade tundmaõppimisega tegelevad arheoloogid ning väljasurnud loomade ja taimede jäänuseid uurivad paleontoloogid kasutavad luminestsentsanalüüsi selleks, et nähtavale tuua nende poolt uuritavate esemete detaile, mis helendavad ultravioletsete kiirte või röntgenikiirte toimel. Helenduse tõttu ilmuvad neil esemetel nähtavale tavalises valguses märkamatud detailid (joon. 10).

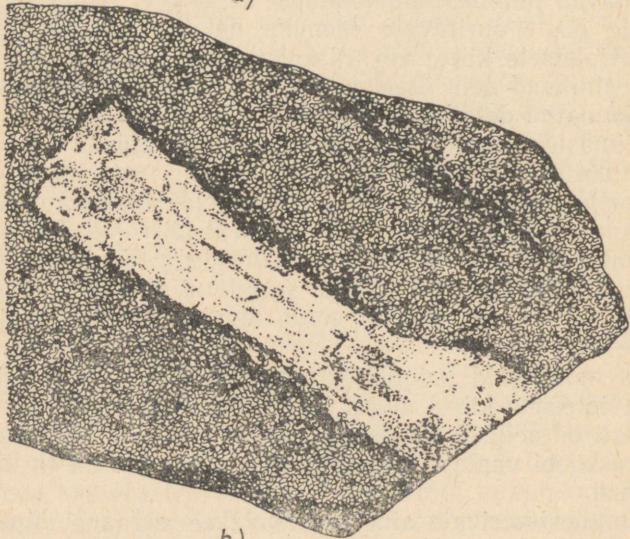
Viimastel aastatel on luminestsentsanalüüsi laialdaselt rakendatud mikroskoopias. Mikroskoobis vaadeldava eseme valgustamiseks kasutatakse erilisi elavhõbedalampe, mis annavad peenikese joa ultravioletseid kiiri. Vaadeldav preparaat värvitakse helendavate värvidega. Seejuures ilmuvad mikroskoobi vaateväljale selgelt niisugused taime- või loomakoe ehituse detailid, mida tavalise valgustuse juures üldse ei märgata.

Ka mõningaid haigusttekitavaid mikroobe saab värvida ultravioletsete kiirte mõjul helendavate ainetega. Kui preparaati on selliselt töödeldud, siis on näha isegi üksainus mikroskoobi vaateväljale sattunud mikroob, sest ta kiirgab valgust.

Luminestseerivate ainetega kaetakse ekraane röntgenoloogilisteks uurimisteks. Röntgenikiired on silmale nähtamatud, kuid nad panevad helendama mõned ained, näiteks tsinksulfiidi, mõned plaatina ühendid ja muud. Nende ainetega kaetakse erilised ekraanid. Need kohad ekraanil,



a)



b)

Joon. 10. Näide luminesentsentsanalüüsist. Kivistunud kondi jäänused lubjakivis: a) kont päevavalgusel; b) kont ultravioletsete kiirte valgusel.

kuhu langevad röntgenikiired, helendavad pimeduses sinakalt. Kui röntgenitoru ja sellise ekraani vahele paigutada inimese mingi kehaosa, näiteks käsi, siis on ekraanil selgelt näha selle kehaosa kujutis. Seejuures luud annavad teravalt piiritletud tumedad varjud. Läbivalgustamisel on hästi näha luude vigastused: mõrad, murrud jne. Enne mao ja söögitoru läbivalgustamist antakse haigele süüa pulbrilise baariumsulfaadiga segatud mannaputru. Baariumsulfaat on röntgenikiirtele läbimatu. Söögitoru, magu ja soolestik täituvad aegamööda baariumsulfaadiga segatud pudruga ning need elundid joonistuvad selgelt ekraanile, nii et arst saab neid vaadelda. Sel teel saab avastada mao laienemist, söögitoru ahenemist ja teisi haigusi. Mõned elundid, nagu näiteks süda, annavad röntgeniekraanil ise küllalt hästi eraldatavaid varje ja nende varjude kontuuride järgi saab arst otsustada, kas haigel on südame laienemine või mõni teine südamehaigus.

Väga suurt tähtsust omavad luminofoorid kaugnägemises. Kaasaegset televiisorit¹ on võimatu ehitada ilma luminofoore kasutamata: nendega on kaetud ekraan, millele ilmub kujutis. Televisioonitorudes saavad luminofoorid energiat elektronide voolt — elektronikiirelt —, mis kiiresti jookseb üle ekraani ja joonistab kõik need kujutised, mida me näeme televiisoris. Igas kohas, kuhu langeb elektronkiir, paneb ta helendama luminofooride kristallid. See helendus, mis on ekraani eri osades erisuguse tugevusega, tekitabki kujutise. Televiisoritele on vajalikud hetkelise toimega luminofoorid, mille helendus kustub väga kiiresti, sest vastasel korral langeks üks kujutis teise peale ning televiisori ekraanil oleks võimatu millestki aru saada.

Peale hetkelise ja pikaajalise toimega helendavate segude on olemas veel nn. alalise toimega segud. Neid kasutatakse näiteks kellaosutite ja -numbrite katmiseks. Alalise toimega segud ei vaja päikesevalgusega või ultravioletsete kiirtega kiiritamist.

Nad helendavad kogu aeg ega vaja eelkiiritamist.

Kust siis sellised segud saavad helendamiseks vajaliku energia?

¹ Televiisorite tööst on üksikasjalisemalt räägitud K. A. Gladkovi raamatus «Kaugnägemine», ERK, Tallinn, 1952.

Nad saavad energiat helendavale segule lisatud radioaktiivsetelt ainetelt. Looduses on elemente, mille aatomituumad on ebapüsivad ja lagunevad aja jooksul iseenesest, muutudes teiste elementide aatomituumadeks.¹ Aatomite lagunemisel vabaneb alati teatav hulk energiat. Kui luminofoorile lisada sellist radioaktiivset ainet, siis luminofoor neelab osa radioaktiivse aine aatomite lagunemisel vabanevast energiast ja seejärel annab selle energia ära valguse näol.

Radioaktiivse aine aatomite muutumise protsess toimub iseenesest ning ei katke soojendamisel ega jahutamisel. Seepärast kiirgavad alalise toimega helendavad segud vahetpidamata nii päeval kui öösel, nii suvel kui talvel. Võiks arvata, et selline segu helendab lõpmatult kaua, sest mõned radioaktiivsed ained lagunevad alles aastatuhandete jooksul. Tegelikult aga pole see nii. Asi on selles, et radioaktiivse aine kiirgus lagundab tavaliselt võrdlemisi kiiresti luminofoori, mistõttu alalise toimega segude helendamine jääb aja jooksul üha nõrgemaks ja kustub lõpuks hoopis.

LÖPPSÕNA

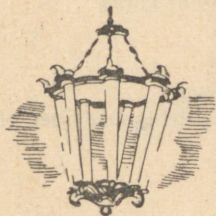
Teadus luminestsentsnähtustest ja nende kasutamisest areneb edukalt. Praegu on luminestsentslampidel veel mõningaid olulisi puudusi (sellist lampi ei saa näiteks süüdata madala õhutemperatuuri juures), kuid pole kahtlust, et need puudused kõrvaldatakse juba lähemas tulevikus, ja siis hakkab luminestsentslamp kiiresti tavalisi hõõglampe välja tõrjuma. Kui meie linnade tänavatel ja väljakutel ning sovhoosides ja kolhoosides süttivad luminestsentslambid, siis tõepoolest muudab inimene öö vastavalt oma soovile helgeks päevaks.

Kristallofosfooride saamise tehnika täiustamine ja uute kristallofosfooride saamine toob inimestele suurt kasu. Teadlased püüavad luua niisuguseid kristallofosfoore, mis pärast nende kiiritamist päikesevalgusega helendaksid kogu öö ja annaksid heledat valgust. Leitakse ka segud, mis ei muutu niiskuse käes. Siis võib luminofoore kasutada hoonete välisseinte katmiseks. Päeval seinad varuvad päi-

¹ Radioaktiivsuse nähtusi tutvustab üksikasjalisemalt K. B. Z a b o r e n k o raamat «Radioaktiivsus», ERK, Tallinn, 1955.

keseenergiat, öösel aga kiirgavad seda silmale meeldiva hajunud valgusena. On võimalik, et siis langeb ära tänavate ja väljakute valgustamise vajadus: öösel on linnad ja külad valgustatud luminofooride helendusest.

Uute valgusallikate laialdane juurutamine tehnikasse ja igapäevasesse ellu aitab kaasa nõukogude kultuuri edasisele tõusule ning teeb meie elu veelgi ilusamaks ja mugavamaks.



SISUKORD

Sissejuhatus	3
1. Kuidas tekib valgus	5
2. Nähtavad ja nähtamatud kiired	8
3. Soojus, tuli ja valgus	10
4. Mis on «külma» valgus	16
5. «Külma» valguse allikad	20
6. «Külma» valguse tehnikas ja igapäevases elus	27
Lõppsõna	34

И. Л. Орестов

ХОЛОДНЫЙ СВЕТ

На эстонском языке

Эстонское Государственное Издательство
Таллин, Пярну маantee 10

*

Toimetaja R. Toming. Tehniline toimetaja H. Kohu.

Korrektorid H. Peel ja Ü. Rattur.

Ladumisele antud 9. VIII 1956. Trükkimisele antud 10. IX 1956. Paber 54×84, 1/16.
Trükipoognaid 2,25. Formaadile 60×92 kohaldatud trükipoognaid 1,84. Arvutuspoog-
naid 1,99. Trükiarv 8000. MB 07152. Tellimise nr. 1906.

Trükkikoda „Pioneer“, Tartu, Kastani tn. 38.

Hind 60 kop.

60 kop.

A-16558

III

TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00497868 2